



# Accordo di Programma MiSE-ENEA 2012 - 2014

LP1: SVILUPPO COMPETENZE SCIENTIFICHE NEL  
CAMPO DELLA SICUREZZA NUCLEARE

REATTORI DI IV GENERAZIONE E SICUREZZA  
NUCLEARE

SICUREZZA NUCLEARE

Sperimentazione e calcolo in appoggio agli studi di  
sicurezza

**C. Lombardo**, P. Meloni

## OBIETTIVI DEL TRIENNIO

Preservare, accrescere e valorizzare la capacità di valutare i principi di sicurezza intrinseca alla base del principio «safety by design» applicato ai reattori innovativi:

- Infrastrutture sperimentali esistenti in Italia (SIET) per test integrali
- Progettazione ed interpretazione di campagne sperimentali
- V&V (verifica e validazione) degli strumenti di calcolo utilizzati per le verifiche di sicurezza

## TEMATICHE DEL TRIENNIO

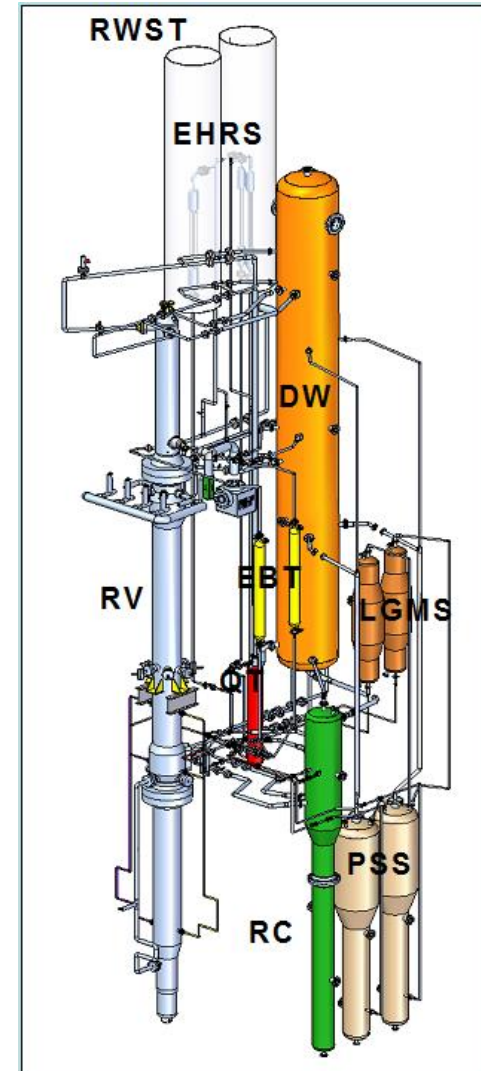
- Studi per il completamento della facility SPES3 (SIET, ENEA, POLIMI)
- Verifica dei codici di sistema CATHARE e TRACE sui transitori della facility SPES2 (ENEA, UNIPA)
- Sviluppo e sperimentazione di strumentazione prototipica: “Spool Piece” per la misura della portata bifase (SIET, POLITO)
- Studio e sperimentazione di componenti critici per la sicurezza: Scambiatori di calore compatti per SMR - Small Modular Reactor (SIET, ENEA, POLIMI, POLITO)

La facility SPES3 (simulatore integrale di SMR), parzialmente realizzata presso i laboratori SIET, permette, oltre alla valutazione dei principi di sicurezza intrinseca la validazione e verifica dei codici termoidraulici di sistema utilizzati per le simulazioni d'impianto dei reattori.

Per la valutazione dei costi di completamento della facility e le azioni da compiere nell'ambito del triennio 2012-2014:

- definizione del piano economico di completamento (SIET),
- ricognizione per partner nazionali ed internazionali (POLIMI),
- definizione e valutazione di una nuova configurazione con recupero di componentistica preesistente (ENEA, SIET).

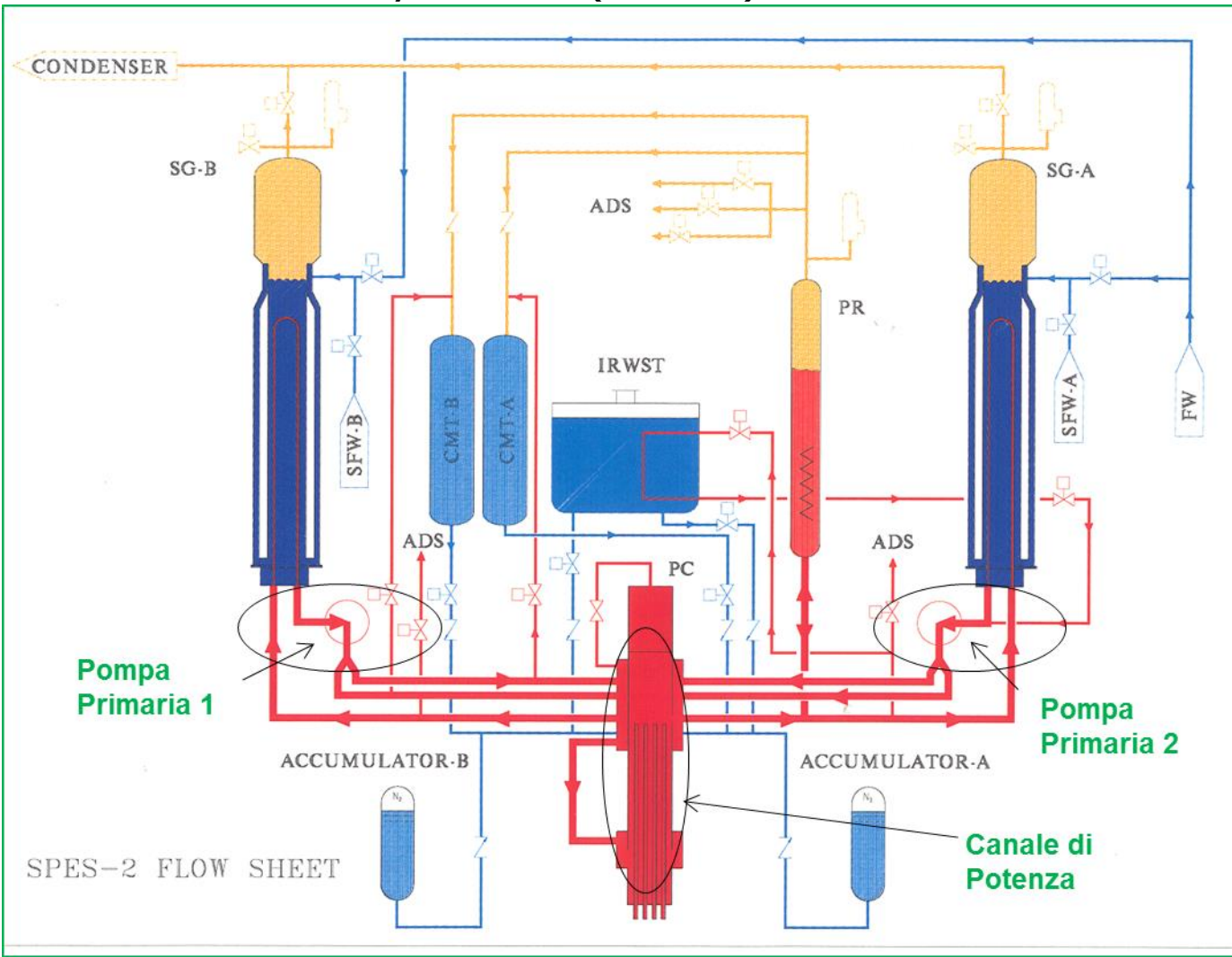
Approvvigionamento e montaggio del fascio di barre riscaldanti per la simulazione del nocciolo del reattore, pompe del circuito primario, piping e delle valvole, strumentazione e sistema di acquisizione / elaborazione dati. Realizzazione ed installazione del Canale Centrale inclusi i relativi internals



**Schema di SPES3.**

# Valutazione Nuova Configurazione SPES3

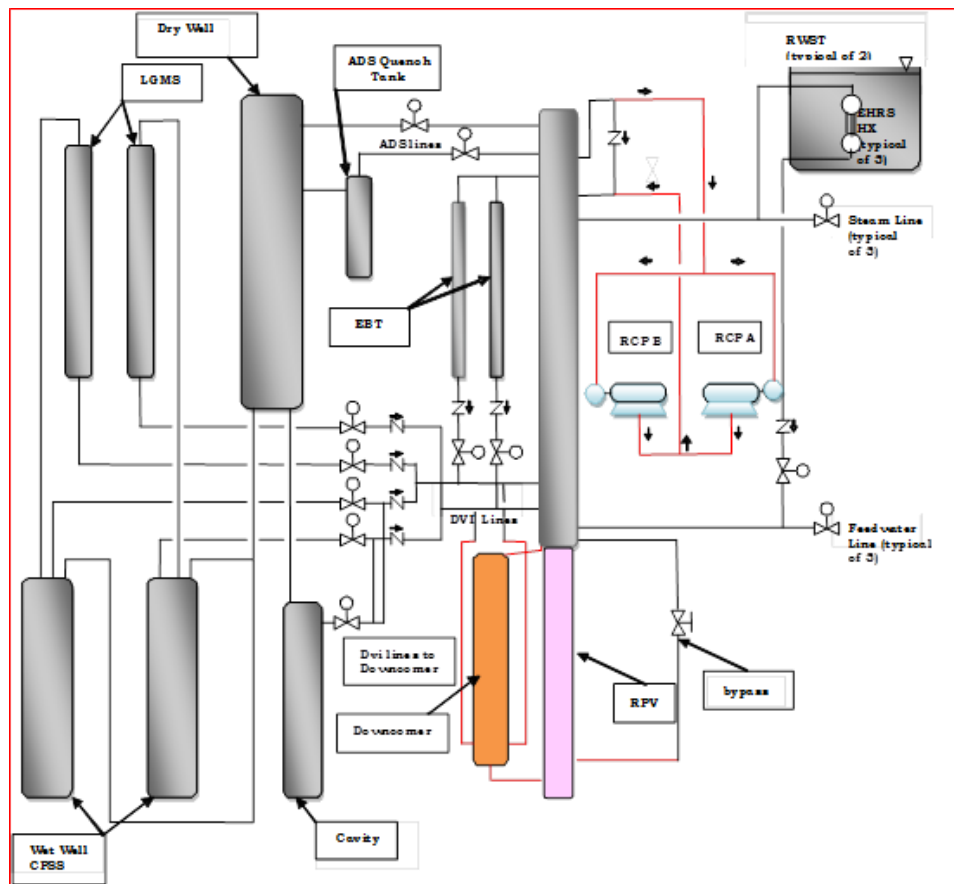
Nuova configurazione basata sul recupero del canale di potenza e delle pompe primarie della facility SPES2 (AP600)



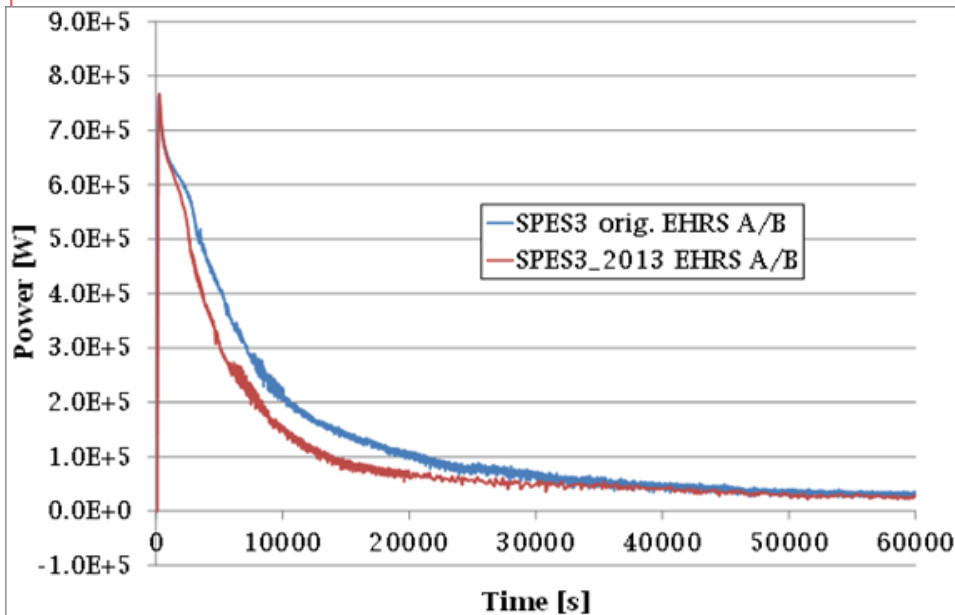
Schema di SPES2.

# Valutazione Nuova Configurazione SPES3

Conferma attraverso calcoli RELAP5 della rappresentatività della nuova configurazione (transitori di Station Black out e Small Break Loca).



**Nuova configurazione di SPES3**

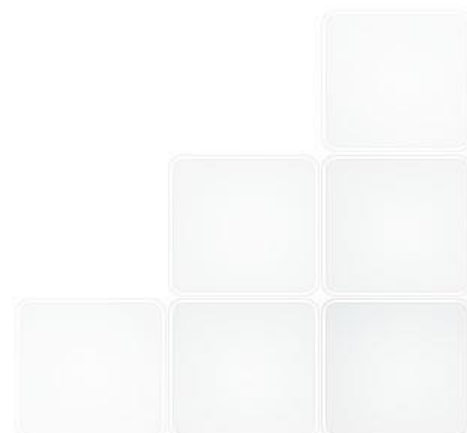


Necessità di apportare modifiche da valutare con il progettista di SPES3 (SIET) per simulare l'accoppiamento tra primario e contenimento

# Valutazione Costi Nuova Configurazione SPES3



Descrizione	Valore (IVA Esclusa) €
Ripristino del canale di potenze SPES-2	780.000
Realizzazione ed installazione del canale di potenza SPES-3	2.300.000
Manutenzione pompe di ricircolo	40.000
Approvvigionamento downcomer	300.000
Approvvigionamento di piping & fittings	196.000
Approvvigionamento delle valvole	461.000
Montaggio del piping e delle valvole	265.000
Approvvigionamento / installazione e calaggio strumenti / SAD	1.240.000
<b>TOTALE</b>	<b>5.582.000</b>



- ✓ Individuazione di una partnership industriale per contribuire al completamento della facility
  - visibilità sul mercato internazionale degli SMR atteso in forte sviluppo
  - possibili contributi in kind da ATB Riva Calzoni SpA, Officine Resta e Morandini (canale di potenza) e da SIET (general contracting)
- ✓ Dettagliata valutazione economica delle attività e degli approvvigionamenti necessari per il completamento della facility
  - necessari fondi pari a circa 8,5 M€, IVA esclusa ed un tempo complessivo di 2,5 anni
  - possibile risparmio di circa 2,65 M€ con contributi in kind



Serbatoi del contenimento SPES-3 installati sulla struttura

Descrizione	Valore (IVA Esclusa) €
Approvvigionamento del fascio di barre riscaldanti	2.645.000
Realizzazione ed installazione del Canale Centrale	3.500.000
Approvvigionamento ed installazione pompe primarie	313.000
Approvvigionamento di piping & fittings	159.000
Approvvigionamento delle valvole	461.000
Montaggio del piping e delle valvole	252.000
Approvvigionamento / installazione strumenti /SAD	1.205.000
<b>TOTALE</b>	<b>8.535.000</b>

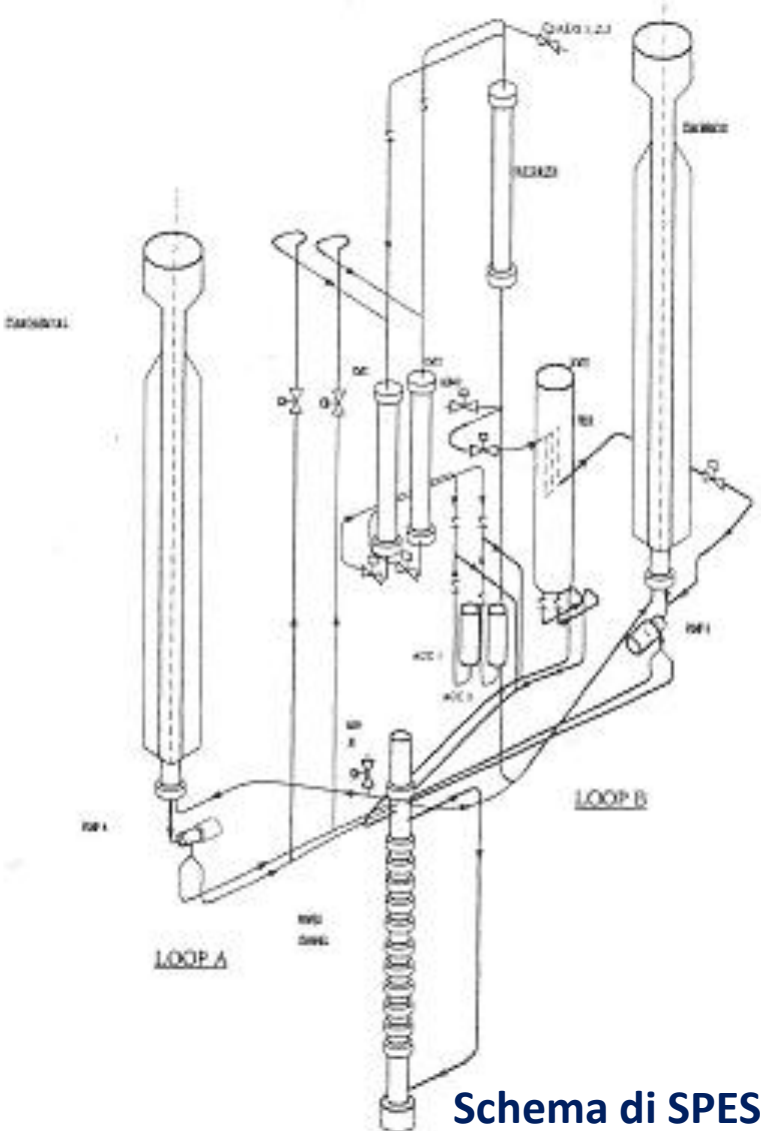
**Costo completamente incompatibile con il finanziamento previsto per la tematica nel Piano Triennale 2012-2014**

## CONCLUSIONI

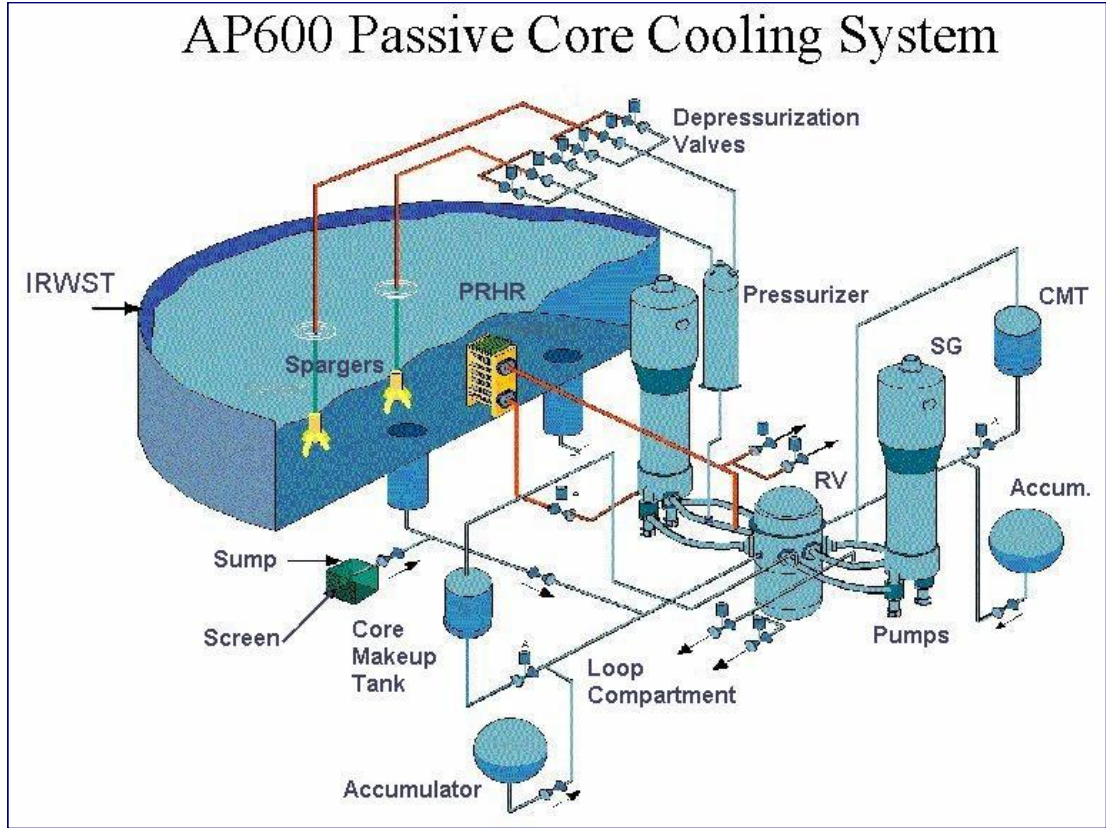
- ✓ Lo studio di fattibilità della SIET ha dimostrato che sarebbe possibile realizzare la facility SPES-3 in configurazione diversa il canale di potenza e le pompe primarie della facility SPES-2
- ✓ Necessari calcoli aggiuntivi per verificare la risposta del sistema in una più vasta gamma di transitori incidentali
- ✓ I tempi ed i costi del completamento di SPES-3 sarebbero comunque elevati, in considerazione del recupero parziale della componentistica SPES-2 esistente e dei pesanti oneri di manutenzione straordinaria, in particolare per il canale di potenza
- ✓ Il risparmio economico derivante dalla nuova configurazione appare troppo esiguo per giustificare una scelta che porterebbe a compromessi tecnici importanti



# SPES: Simulatore Pressurizzato per Esperienze di Sicurezza



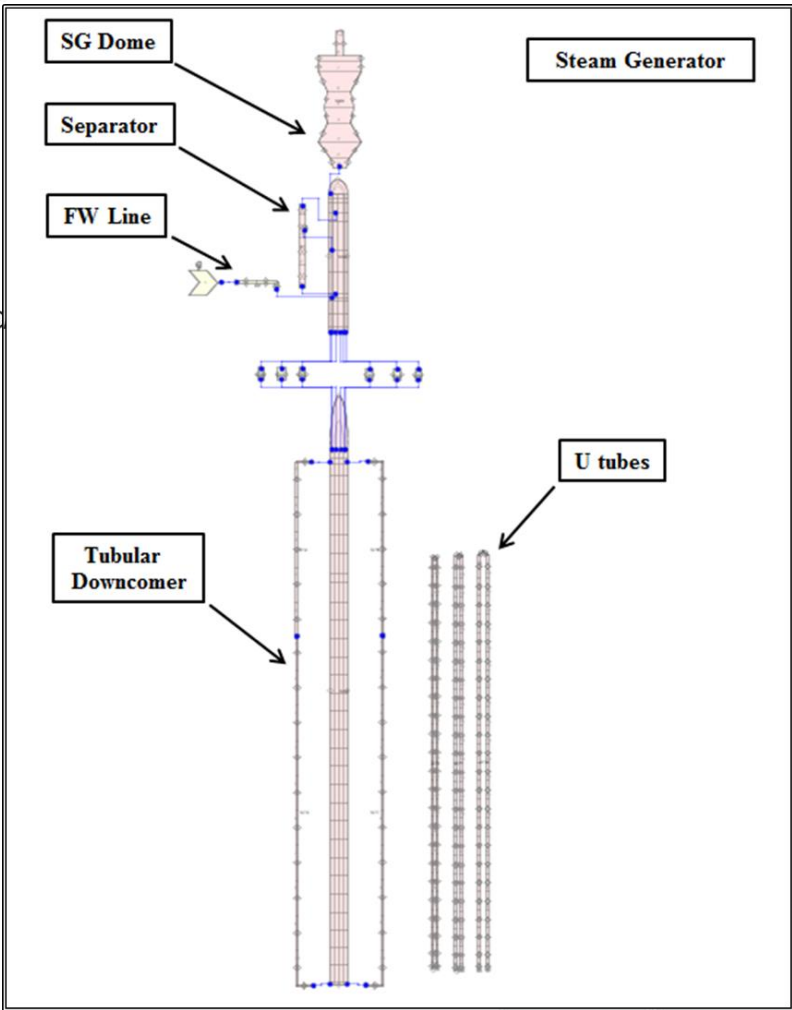
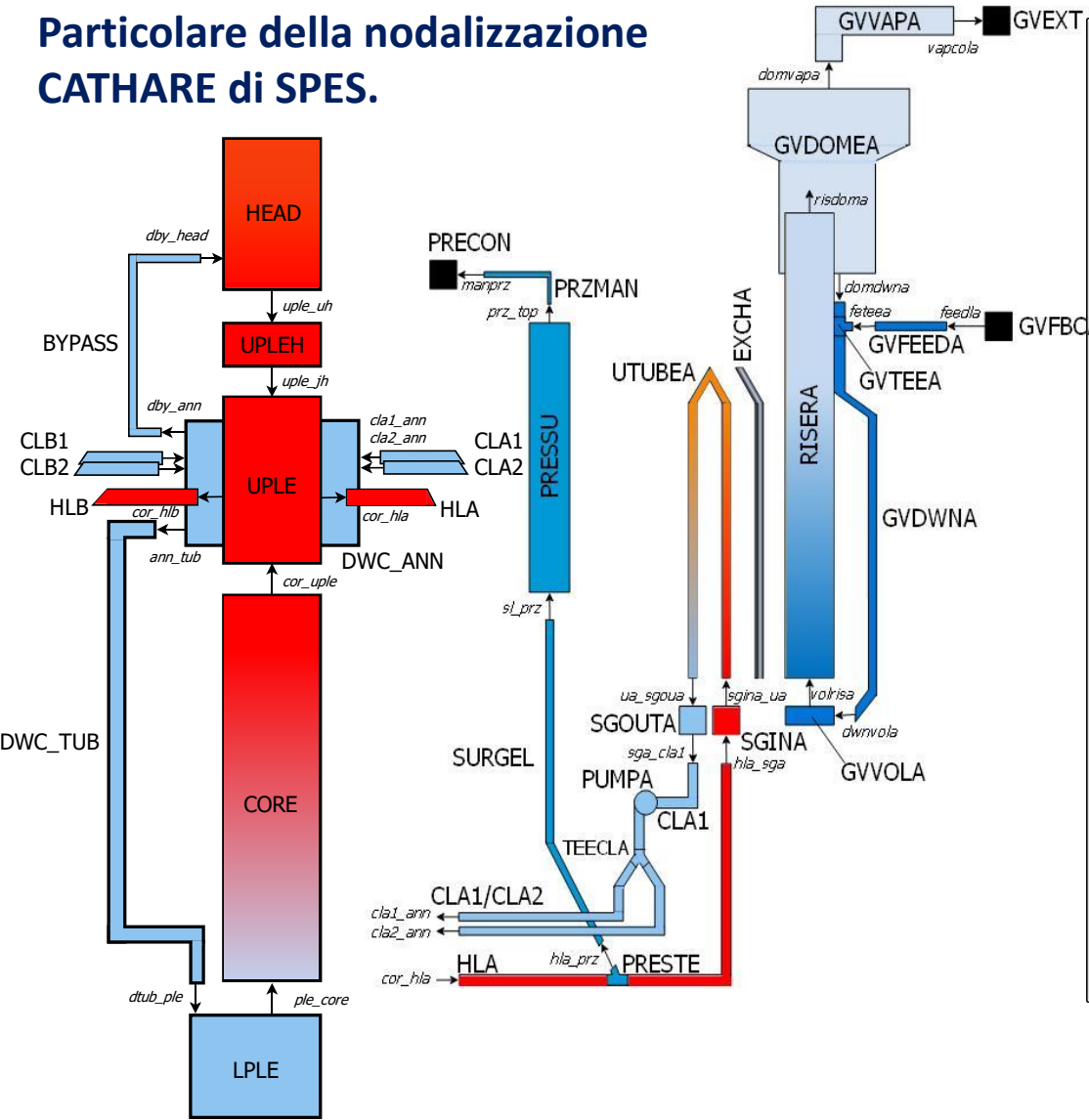
**Schema di SPES2.**



**Sistemi emergenza AP600**

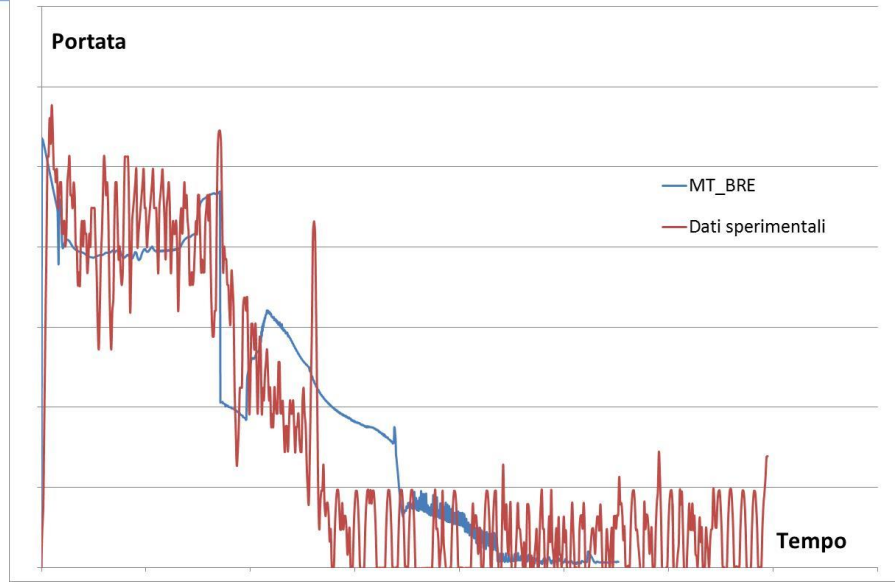
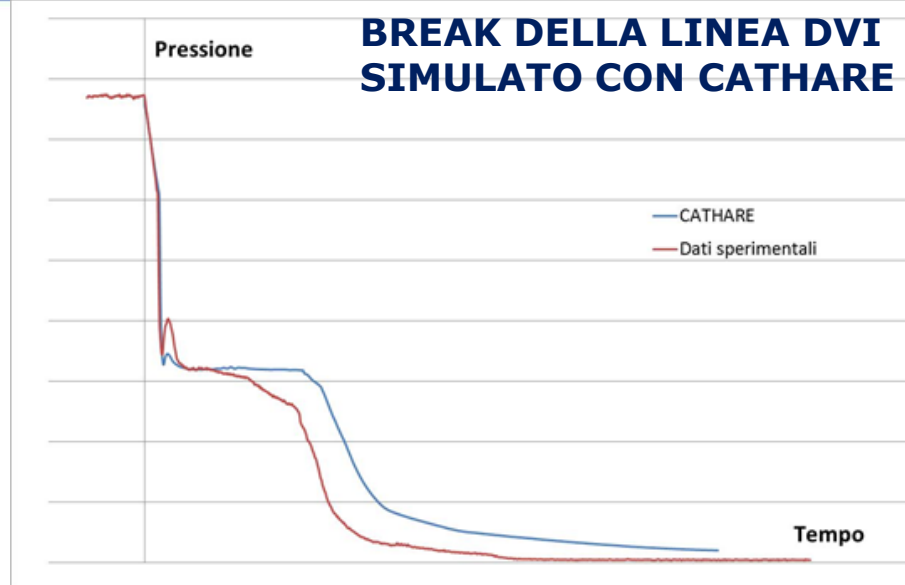
# Validazione e verifica di codici termo-idraulici e relativi modelli sui test SPES2

## Particolare della nodalizzazione CATHARE di SPES.

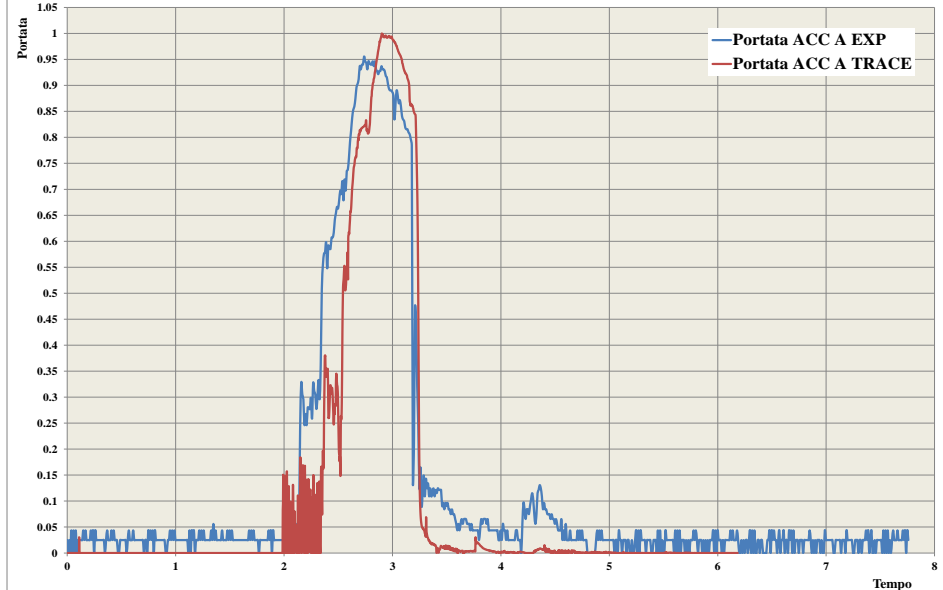
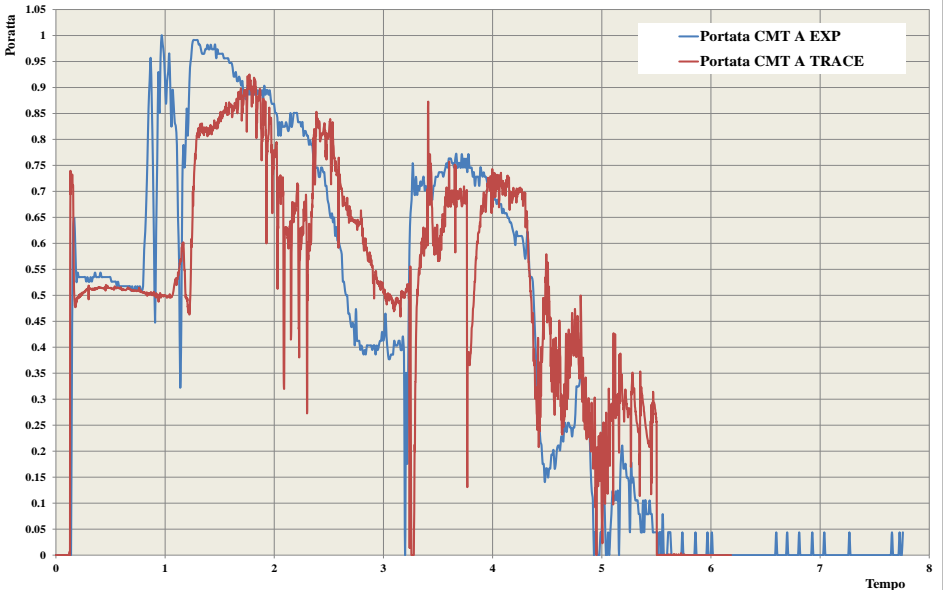


Particolare della nodalizzazione TRACE di SPES.

# Validazione e verifica di codici termo-idraulici e relativi modelli sui test SPES2

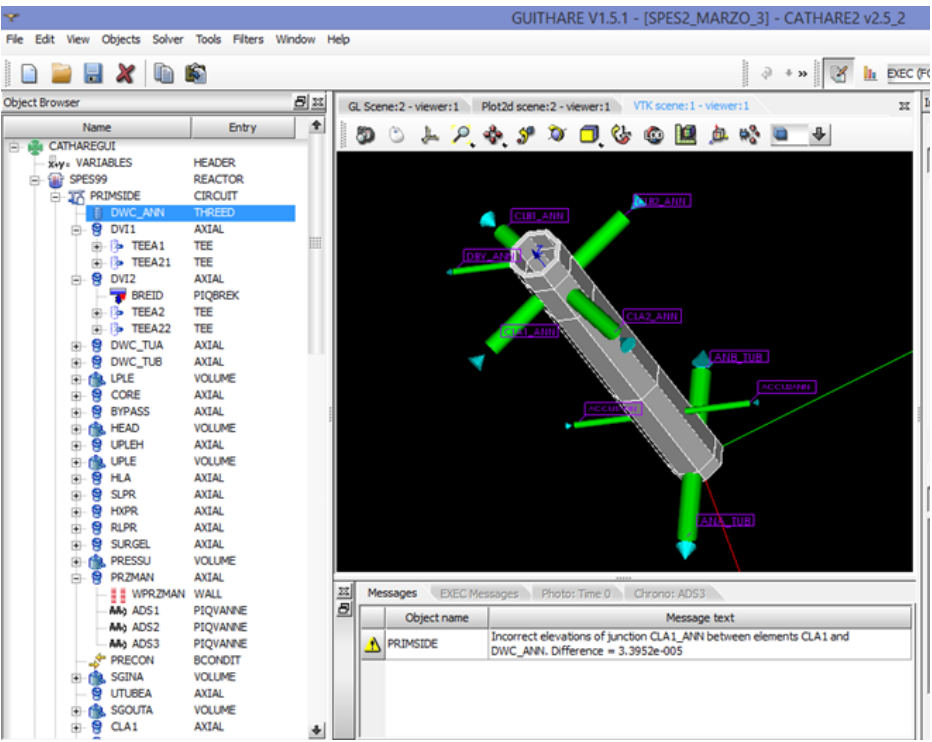


## BREAK DELLA BL-CL SIMULATO CON TRACE

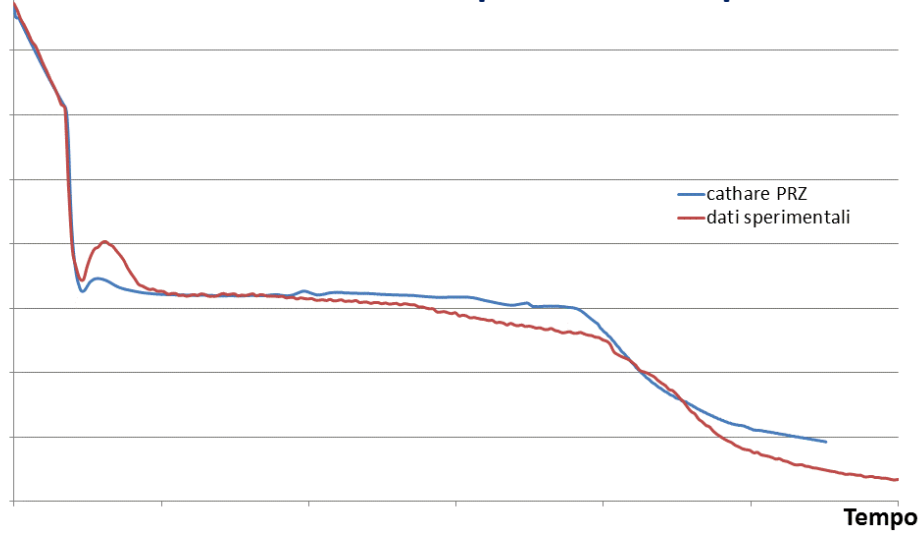


# Validazione e verifica di codici termo-idraulici e relativi modelli sui test SPES2

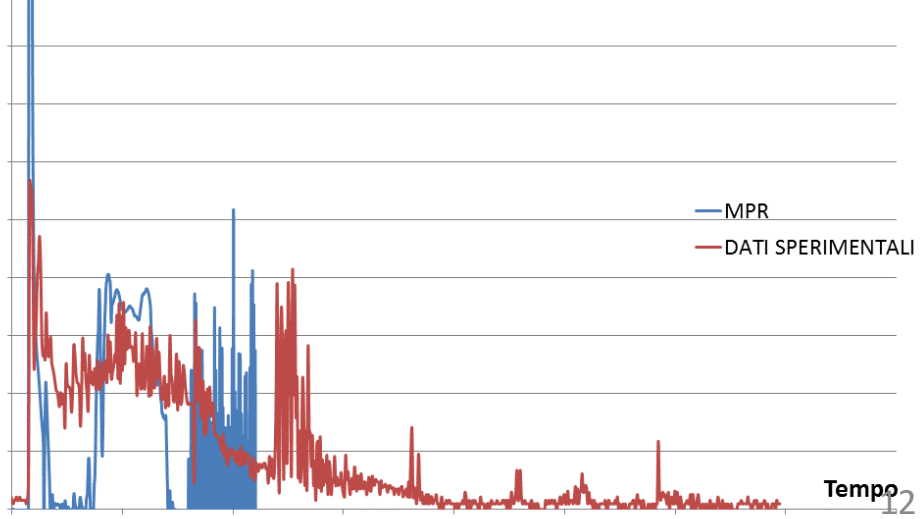
Particolare del modello 3D dell'anular downcomer di SPES simulato con CATHARE.



Pressione **Andamento della pressione nel primario**

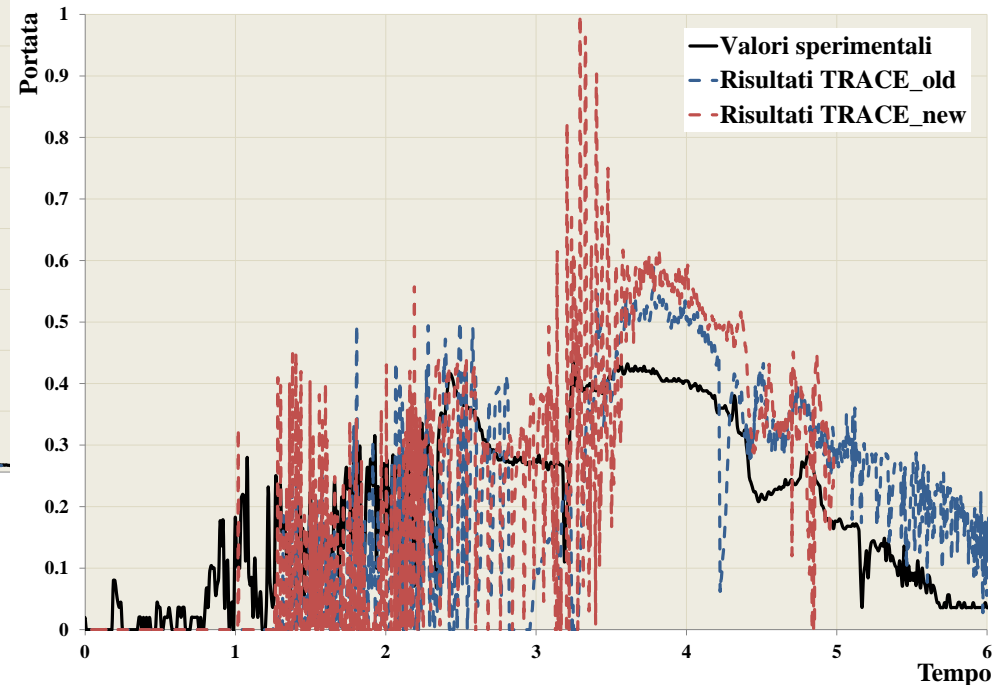
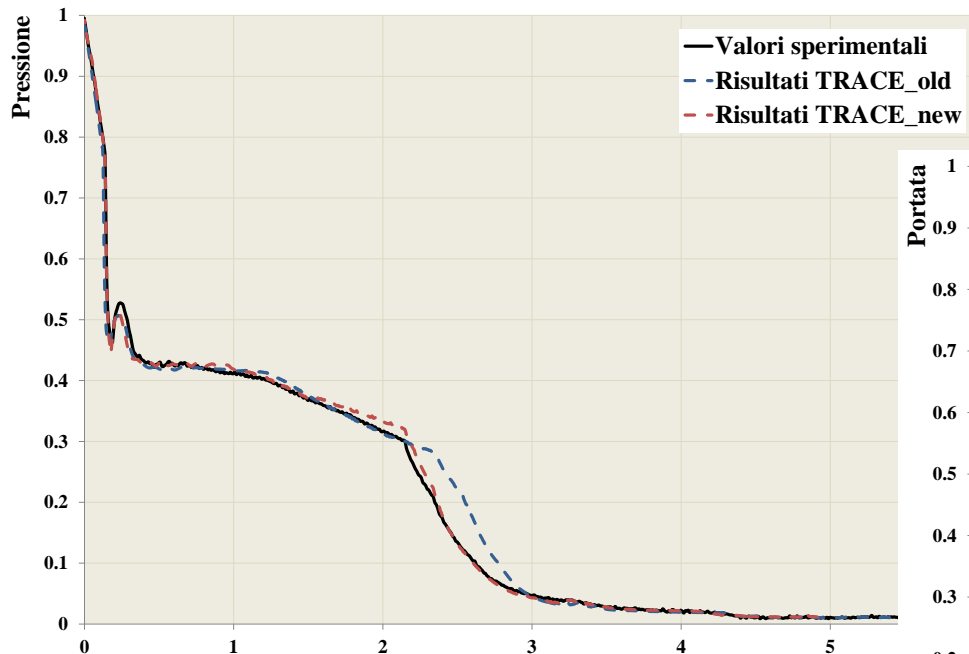


Portata **Andamento della portata nel PRHR**



Migliore apportate al nodino TRACE di SPES.

1. Utilizzazione del modello di “level tracking” capace di localizzare, in maniera efficace, la posizione dell’interfaccia liquido-vapore.
2. Utilizzazione del modello CCFL nelle giunzioni dove possono presentarsi i fenomeni di “flooding” o di “reflux condensation”



# Sviluppo e sperimentazione strumentazione prototipica "Spool Piece" per la misura della portata bifase



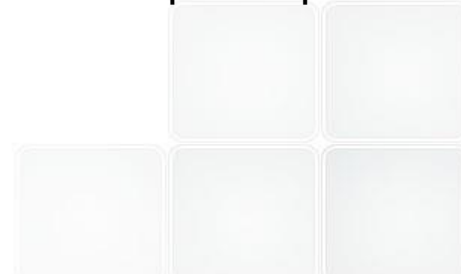
Acquisizione/messa a punto di strumentazione per la misurazione di portata bifase da impiegarsi sugli impianti sperimentali di tipo integrale

- ✓ Sviluppo in SIET di una sonda capacitiva per la misura del grado di vuoto operante alle condizioni prototipiche dell'impianto SPES (rotture). Test sull'impianto prova barre scaldanti hanno permesso di ricavare un modello predittivo sperimentale
- ✓ Individuazione degli strumenti più idonei per la realizzazione del set strumentale (SPOOL PIECE) che permetterà la misurazione della portata bifase su SPES3

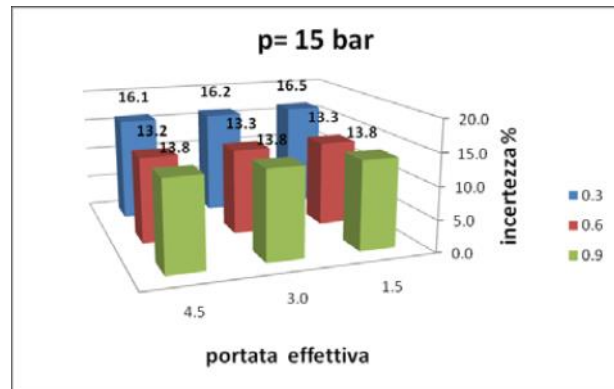
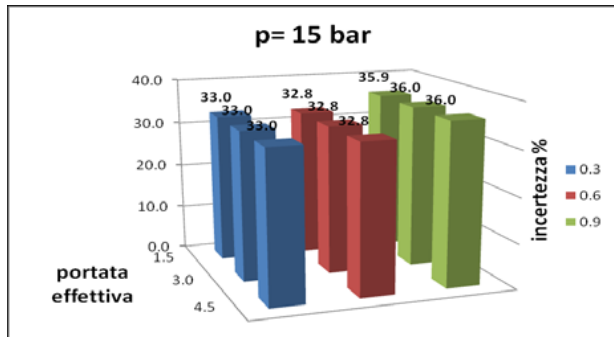


Sezione di prova SIET

SIET ha integrato la sonda capacitiva per la misura del grado di vuoto con un "drag disk" (o Tubo di Pitot) per la misura del flusso della quantità di moto ed un Vortex per misurare velocità media della miscela. Prove sperimentali in acqua-vapore in disposizione orizzontale



# Sviluppo e sperimentazione strumentazione prototipica "Spool Piece" per la misura della portata bifase



Strumento	Misura	Incertezza strumento	Deviazione
sonda capacitiva	$\alpha$ [%]	10% v.m.	5% v.m.
vortex	$V$ [m/s]	1% v.m.	5% v.m.
Pitot / drag disk	$M$ [Pa]	32 % v.m	7% v.m.

## Incertezze strumenti per punti sperimentali SP

La sperimentazione sullo Spool Piece ha messo in evidenza alcune criticità legate sia all'elettronica sia al modello matematico per il calcolo della portata bifase.

Sulla base delle analisi di dati precedentemente acquisiti e di nuovi test di stabilità, è stata valutata in modo accurata l'incertezza introdotta dai diversi strumenti dello spool piece nella misura di portata.

## Conclusioni

Il valore di incertezza associata alla misura di portata bifase è risultato particolarmente elevato. L'incertezza associata alla misura di grado di vuoto è risultata penalizzata da derive di origine termica dell'elettronica della sonda così come l'incertezza di misura del momento della quantità di moto dovuta ad alcuni limiti intrinseci della strumentazione.

Per queste specifiche cause sono state individuate alcune migliorie fattibili:

1. L'errore dovuto alla geometria del misuratore di flusso della quantità di moto può essere ridotto utilizzando un drag disk con area efficace maggiore o un tubo di pitot con fori distribuiti lungo il diametro da 3"
2. L'effetto della temperatura sulla misura degli elettrodi può essere eliminato introducendo un sistema di termostatazione delle schede.

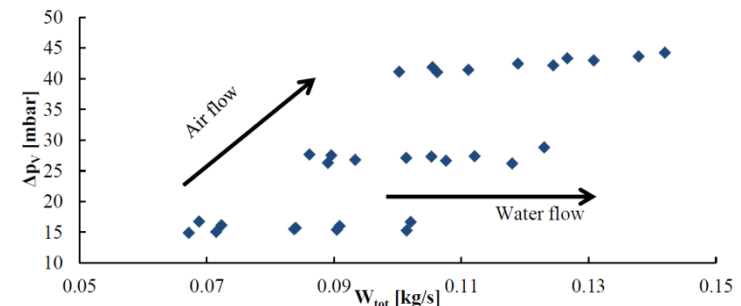
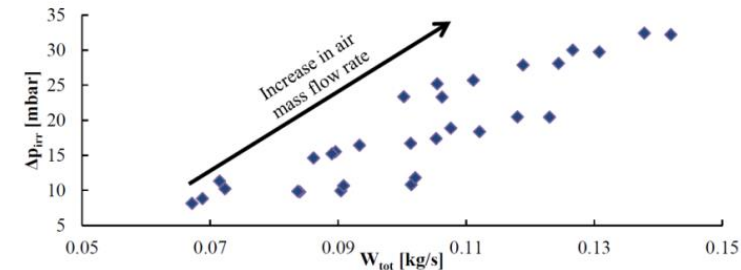
Strumento	Misura	Incertezza strumento	Deviazione
sonda capacitiva	$\alpha$ [%]	2% v.m.	5% v.m.
vortex	$V$ [m/s]	1% v.m.	5% v.m.
Pitot / drag disk	$M$ [Pa]	10 % v.m	7% v.m.

Valutazione incertezze strumenti con miglioria proposte

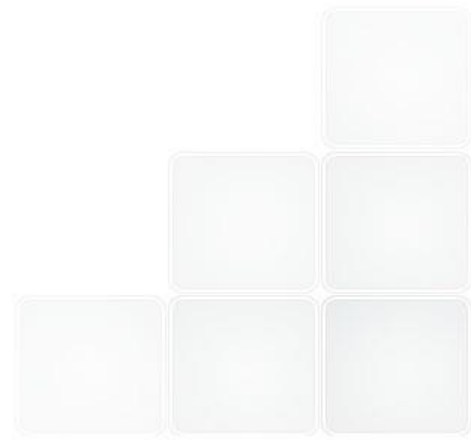


# Sviluppo e sperimentazione strumentazione prototipica "Spool Piece" per la misura della portata bifase

- ✓ Sviluppo di un modello interpretativo dei segnali di uno SP per la caratterizzazione della strumentazione per misurare i principali parametri termoidraulici durante il LOCA simulato nell'impianto SPES 3 della SIET
- ✓ Punti sperimentali ottenuti con SP in configurazione orizzontale e verticale, calibrazione in regime monofase e test in regime bifase con portate imposte di acqua ed aria

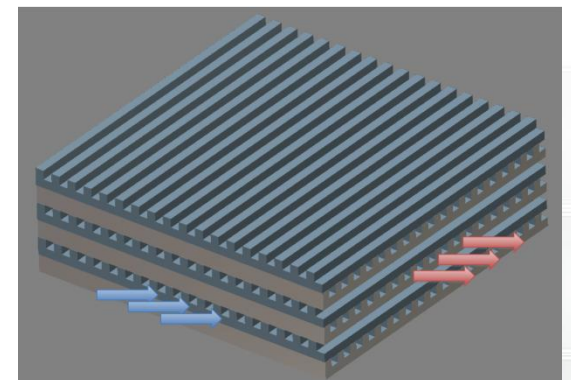
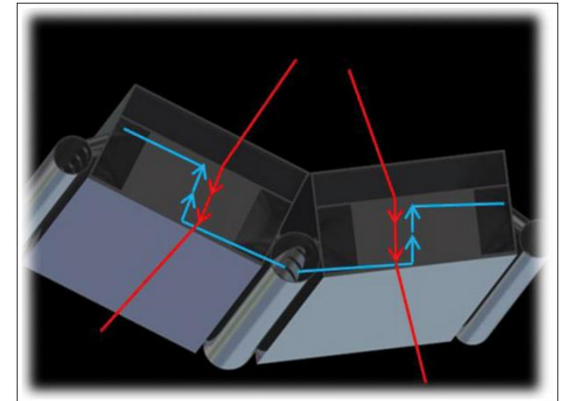
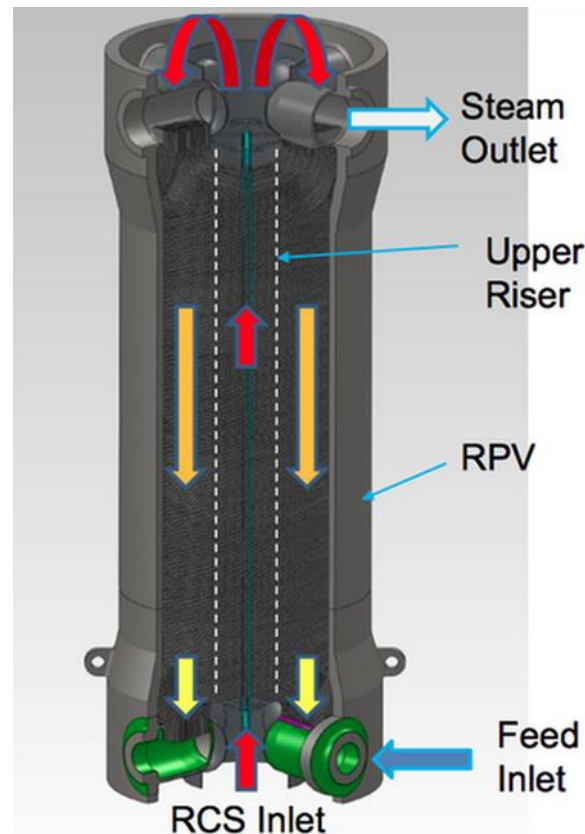


- Sono state definite le metodologie e le procedure per la caratterizzazione della Spool Piece
- I segnali della sonda capacitiva sono utili per definire il "flow pattern"
- I segnali del Venturi e della sonda, proporzionali alle pressioni differenziali e alla frazione di vuoto, permettono di stimare le portate di liquido e di gas.



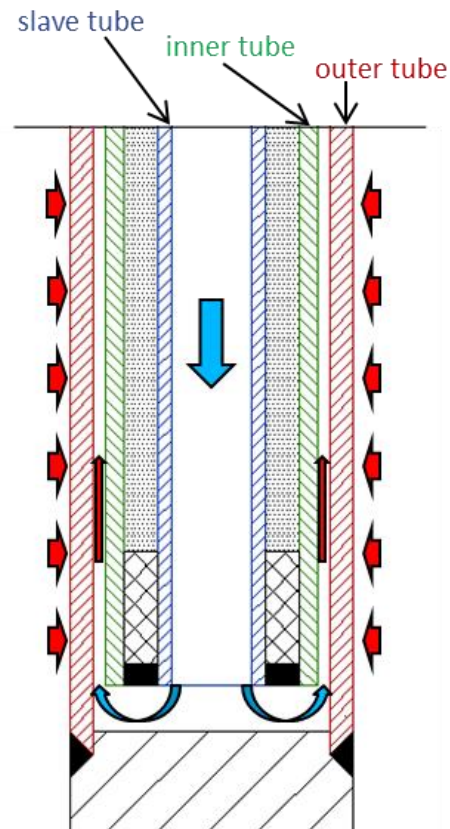
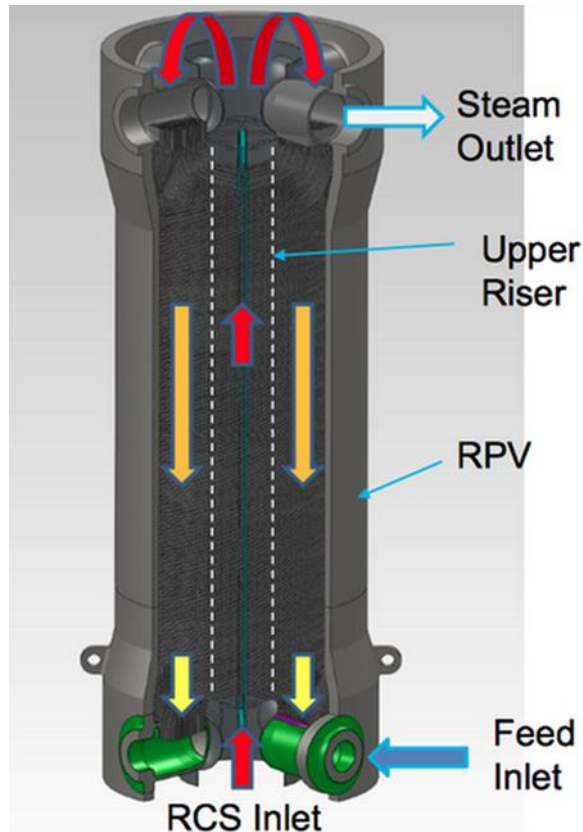
Studio di geometrie non convenzionali per la rimozione di potenza in reattori innovativi in condizioni normali ed incidentali (DHR) in SMR

- Tubi elicoidali
- Microcanali
- Tubi a baionetta



# Studio e sperimentazione di componenti critici per la sicurezza: Scambiatori di calore compatti per SMR

- ✓ Test di generatori di vapore con tubi a baionetta (componente HERO-2), integrati sull'impianto sperimentale IETI di SIET. Test termoidraulici condotti consentiranno un confronto preliminare delle prestazioni tra i due tipi di generatore utilizzando dati per tubi elicoidali da triennio precedente.



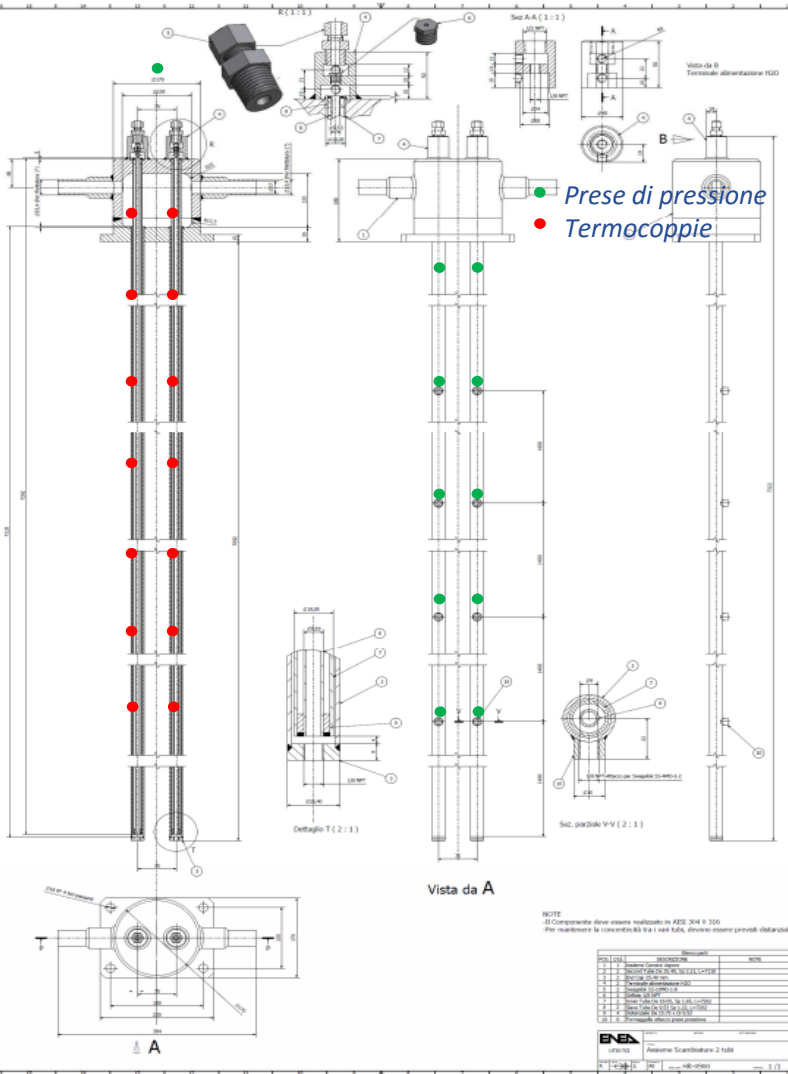
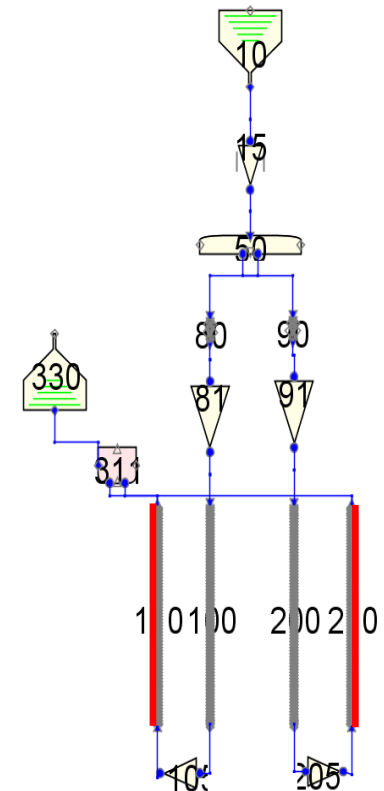
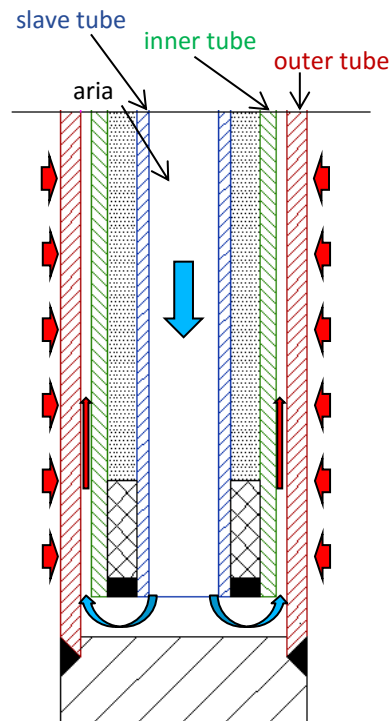
Sviluppo del modello di HERO-2 per RELAP5 a supporto della progettazione delle prove sperimentali e dell'esecuzione delle simulazioni post-test.

# Studio e sperimentazione di componenti critici per la sicurezza: Scambiatori di calore compatti per SMR

## HERO-2 – Heavy liquid metal – pressurized water cooled tube #2

### STRUMENTAZIONE

- ❖ 14 TC immerse nei canali anulari
- ❖ TC sulla sup esterna dei tubi
- ❖ 14 prese per P e/o DP
- ❖ Portate valutate attraverso DP sugli orifizi



NOTE

- I Componenti dove essere realizzati in 4202, 304 o 316
- Per mantenere la compatibilità fra i vari tubi, devono essere previsti distanziali

Rev.	Descrizione	Aut.	Verif.
01	Disegnato		
02	Disegnato		
03	Disegnato		
04	Disegnato		
05	Disegnato		
06	Disegnato		
07	Disegnato		
08	Disegnato		
09	Disegnato		
10	Disegnato		

ENEA  
 ANS/103  
 Antenne Scambiatore 2 tubi  
 1/10/11  
 1/10/11

# Studio e sperimentazione di componenti critici per la sicurezza: Scambiatori di calore compatti per SMR



- ✓ 2 Tubi elicoidali implementati sull'impianto IETI nell'ambito di una collaborazione tra POLIMI e SIET
- ✓ Il componente HERO-2 (2 tubi) è stato messo a disposizione da ENEA ed è stato montato da SIET nei suoi laboratori presso il quale sono attualmente in svolgimento le ultime prove.
- ✓ I dati sperimentali ottenuti saranno utilizzati per validare i codici di sistema utilizzati a supporto della progettazione e per l'analisi incidentale dei reattori SMR.

